

学校编码: 10384

学号: 19920091152487

分类号

密级

UDC

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

# 基于 EtherCAT 通信平台的 ServoWorks CNC 技术的研究及应用开发

Research and Application Development on the ServoWorks  
CNC Technology with the EtherCAT Interface System

郑 新 武

指导教师姓名: 陈永明 副教授

专 业 名 称: 机械设计及理论

论文提交日期: 2012 年 5 月

论文答辩时间: 2012 年 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2012 年 月

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年    月    日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月    日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘要

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的技术基础，其核心部分“控制系统”的发展情况是衡量一个国家制造业发展水平的重要标准之一。开放式数控系统充分利用了计算机技术的丰富资源，实现了软件与硬件的分离，通过引进、吸收国外的先进技术，开发拥有我国自主知识产权的适用于不同设备的数控系统，打破国外传统数控的技术垄断，对提高我国数控技术水平具有重要的意义。

随着现场总线技术的不断发展，基于 PC 的数控系统得到广泛的应用。将计算机网络中的以太网技术应用于工业自动化领域构成的工业以太网是当前现场总线技术的重要发展方向。EtherCAT 使用标准以太网技术，是一种开放的实时全双工以太网通信协议，具有适用性广、数据传输高效、拓扑结构灵活、安全可靠、兼容性强等特点。基于 EtherCAT 通信平台的 ServoWorks CNC 技术充分结合了开放式数控系统及实时工业网络的优势，该系统具有稳定性高、硬件结构简单、维护简便等诸多优点。

本课题通过对纯软件开放式 ServoWorks CNC 技术与 EtherCAT 总线技术的深入研究，开发出适用于六轴三联动的双工位立式加工中心的数控系统，并完成该系统配套的电气设计、PLC 程序编写及整机调试，最后通过零件试加工对整机的性能进行评估。结果表明：系统设计合理，运行可靠，整机总体技术性能达到预期的目标要求。

**关键词：**EtherCAT 工业以太网；ServoWorks CNC；加工中心

厦门大学博硕士论文摘要库



## **Abstract**

Numerical control technology is the base to reach automation, flexibility and integrated manufacturing. As the core part, the control system is one of the criteria to measure the level of the national manufacturing development. Open CNC system makes a full use of the abundant resources of personal computer technology, which achieves the separation of the software and hardware. Through import and assimilation of foreign advanced technologies, developing our own CNC system that suits to different equipments, and breaking out the monopoly by traditional CNC products is of great significance for our nation to develop the original CNC technology.

With the continuous development of fieldbus, the CNC system based on PC has been widely applied. Industrial Ethernet technology is the computer network used in the industrial automation field, which is a dominant trend of the current fieldbus technology. Among many Ethernet-based fieldbus protocols, EtherCAT is an open real-time full-duplex Ethernet protocol with high data speed and efficiency that uses standard Ethernet, which possess topological flexibility, safety and reliability, compatibility and other characteristics. The ServoWorks CNC with EtherCAT interface system combines the advantages of the Open CNC technology and the real-time industrial Ethernet technology in a perfect manner. It possesses good stability, simple hardware structure, easy maintenance, and low cost among many other advantages.

Based on the comprehensive study on the ServoWorks CNC technology and EtherCAT industrial Ethernet technology, this paper develops a CNC system for six-axis with three-linkage double-stations vertical machining center (VMC). It also makes the electrical design, PLC programs and machine debugging for double-stations VMC. At last, this paper evaluates overall performance through parts processing. Test run shows that the system design is reasonable and of high reliability and meet the accuracy demands of the practical part processing.

**Key Words:** EtherCAT Industrial Ethernet; ServoWorks CNC; Machining Center

厦门大学博硕士论文摘要库

## 目录

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
<b>1.1 开放式数控系统技术</b>	<b>1</b>
1.1.1 开放式数控系统产生的历史背景	1
1.1.2 开放式数控系统的概念及基本特征	1
1.1.3 数控系统发展的趋势	2
1.1.4 开展开放式数控系统研究的意义	3
<b>1.2 工业以太网技术</b>	<b>4</b>
1.2.1 工业以太网技术概述	4
1.2.2 实时工业以太网	5
1.2.3 EtherCAT 协议	6
<b>1.3 课题概述</b>	<b>8</b>
1.3.1 选题背景	8
1.3.2 课题的工作进程	9
<b>第二章 ServoWorks CNC 系统软硬件及相关技术</b>	<b>11</b>
<b>2.1 ServoWorks CNC 技术</b>	<b>11</b>
2.1.1 ServoWorks CNC 概述	11
2.1.2 ServoWorks CNC 软件架构	11
2.1.3 ServoWorks Develop Kit 二次开发包	13
2.1.4 IntervalZero RTX 实时扩展子系统	14
<b>2.2 基于 EtherCAT 通讯技术的 ServoWorks CNC 系统</b>	<b>16</b>
2.2.1 系统的组成	16
2.2.2 硬件平台	16
2.2.3 操作系统平台	17
<b>2.3 基于 EtherCAT 通信平台的 ServoWorks CNC 系统解决方案</b>	<b>18</b>
2.3.1 数字伺服控制方案	18
2.3.2 经济型控制方案	18
2.3.3 EtherCAT 接口模块介绍	19
<b>2.4 本章小结</b>	<b>21</b>
<b>第三章 S-140M 在双工位加工中心上的应用与开发</b>	<b>23</b>
<b>3.1 双工位加工中心简介</b>	<b>23</b>
3.1.1 双工位加工中心机械本体	23
3.1.2 回转工作台结构	24
3.1.3 自动换刀结构	25

<b>3.2 基于 ServoWorks CNC 技术的 S-140M 数控系统 .....</b>	<b>26</b>
3.2.1 控制方案.....	28
3.2.2 S-140M 软件安装 .....	30
3.2.3 伺服电机选用.....	31
3.2.4 通用伺服模块与伺服轴的连接.....	33
3.2.5 系统与主轴伺服的连接.....	35
3.2.6 系统与刀库轴伺服的连接.....	36
3.2.7 整机配电.....	37
<b>3.3 本章小结 .....</b>	<b>37</b>
<b>第四章 机床 PLC 程序设计 .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 LadderWorks PLC.....</b>	<b>39</b>
4.1.1 LadderWorks PLC 简介 .....	39
4.1.2 Ladder Works PLC 基本指令 .....	41
4.1.3 LadderWorks PLC 编写方法 .....	42
<b>4.2 双工位加工中心 PLC 程序设计 .....</b>	<b>44</b>
4.2.1 操作面板 PLC.....	44
4.2.2 系统及机床运行基本 PLC.....	46
4.2.3 自动换刀系统 PLC.....	46
4.2.4 PLC 轴控制程序.....	52
<b>4.3 本章小结 .....</b>	<b>54</b>
<b>第五章 整机调试与零件试加工 .....</b>	<b>55</b>
<b>5.1 系统功能介绍及基本参数设定 .....</b>	<b>55</b>
5.1.1 机床参数设置.....	55
5.1.2 NC 参数设置.....	56
5.1.3 回零参数设置.....	57
5.1.4 机床反向间隙补偿设置.....	58
5.1.5 螺距误差补偿设置.....	59
5.1.6 动态前瞻控制设置.....	62
5.1.7 其他参数设置简介.....	63
<b>5.2 系统配置文件设置 .....</b>	<b>64</b>
5.2.1 伺服轴的信息配置.....	64
5.2.2 伺服模块信息配置.....	65
<b>5.3 伺服参数设置 .....</b>	<b>66</b>
5.3.1 伺服轴参数调整.....	66
5.3.2 主轴变频器设置.....	69
<b>5.4 整机功能测试 .....</b>	<b>70</b>
5.4.1 数控程序编写.....	71
5.4.2 系统宏功能测试.....	74
5.4.3 动态前瞻功能测试.....	74

5.4.4 测试件加工.....	76
5.5 本章小结 .....	77
<b>第六章 总结与展望 .....</b>	<b>79</b>
6.1 总结 .....	79
6.2 展望 .....	79
<b>参考文献 .....</b>	<b>81</b>
<b>攻读硕士学位期间发表的论文 .....</b>	<b>85</b>

厦门大学博硕士论文摘要库

## Table of Contents

<b>Chapter 1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Open CNC System Technology .....</b>	<b>1</b>
1.1.1	Background of Open CNC System .....	1
1.1.2	Concept and Features of Open CNC System .....	1
1.1.3	Tends of R&D for Open CNC System .....	2
1.1.4	Significance of establishing Open CNC System .....	3
1.2	<b>Industrial Ethernet Technology .....</b>	<b>4</b>
1.2.1	Overview of Industrial Ethernet Technology.....	4
1.2.2	Real-Time Industrial Ethernet Technology.....	5
1.2.3	EtherCAT Network Protocol .....	6
1.3	<b>Conspectus of the Research.....</b>	<b>8</b>
1.3.1	Background of the Research .....	8
1.3.2	Course of the Research .....	9
<b>Chapter 2</b>	<b>Software and Hardware of ServoWorks CNC technology .</b>	<b>11</b>
2.1	<b>ServoWorks CNC Technology .....</b>	<b>11</b>
2.1.1	Overview of ServoWorks CNC.....	11
2.1.2	Software Framework of ServoWorks CNC .....	11
2.1.3	ServoWorks CNC Develop Kit.....	13
2.1.4	IntervalZero RTX RealTime Subsystem.....	14
2.2	<b>ServoWorks CNC of the EtherCAT Interface System .....</b>	<b>16</b>
2.2.1	Structure of the ServoWorks CNC System .....	16
2.2.2	Hardware Platform.....	16
2.2.3	Operating System Platform .....	17
2.3	<b>Soft Servo Systems' CNC solutions .....</b>	<b>18</b>
2.3.1	Digital Servo Control Scheme.....	18
2.3.2	Economical Control Scheme .....	18
2.3.3	Introduction of EtherCAT interface module.....	19
2.4	<b>Summary.....</b>	<b>21</b>
<b>Chapter 3</b>	<b>Development and application of the S-140M system on</b>	
	<b>Double-Workstations MachineCenter .....</b>	<b>23</b>
3.1	<b>Introduction of Double Workstations Machine Center.....</b>	<b>23</b>
3.1.1	Structure of Double-Workstations MachineCenter .....	23
3.1.2	Structure of rotated table .....	24
3.1.3	Structure of Automation Tool Changer .....	25
3.2	<b>Structure of S-140M Based on ServoWorks CNC .....</b>	<b>26</b>

3.2.1	Control Scheme.....	28
3.2.2	S-140M Setup.....	31
3.2.3	Servo Motors Selection.....	31
3.2.4	Connections between CNC Module and Servo Controlled Axis .....	33
3.2.5	Connections between CNC Module and Spindle Axis .....	35
3.2.6	Connections between CNC Module and Magazine Axis.....	36
3.2.7	Structure of Power Distribution Cabinet .....	37
<b>3.3</b>	<b>Summary.....</b>	<b>37</b>
<b>Chapter 4</b>	<b>PLC Program Design.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>Ladder Works PLC.....</b>	<b>39</b>
4.1.1	Overview of Ladder Works PLC.....	39
4.1.2	Ladder Works PLC Basic Commands .....	41
4.1.3	LadderWorks PLC Programming.....	42
<b>4.2</b>	<b>PLC Programming of Double Workstations Machine Center.....</b>	<b>44</b>
4.2.1	PLC Program of the Operation Panal .....	44
4.2.2	PLC Program of System and Mechine Tool.....	46
4.2.3	PLC Program of Automation Tool Changer .....	46
4.2.4	The Control Program of PLC Axis .....	52
<b>4.3</b>	<b>Summary.....</b>	<b>54</b>
<b>Chapter 5</b>	<b>Debugging and Testing Parts machining.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>Fuction Introduction and Basic Parameter Setup for System.....</b>	<b>55</b>
5.1.1	Machine Parameters .....	56
5.1.2	NC Settings Parameters.....	57
5.1.3	Home Parameters .....	57
5.1.4	Machine Compensation Parameters.....	58
5.1.5	Pitch Error Compensation Parameters.....	59
5.1.6	Dynamic Look-Ahead Contour Control Parameters .....	62
5.1.7	Other Parameters Setup .....	63
<b>5.2</b>	<b>The System Configuration Files Setup .....</b>	<b>64</b>
5.2.1	Configuration files Setup of Sevo Axes .....	64
5.2.2	Configuration files Setup of System Moudule .....	65
<b>5.3</b>	<b>Adjusting of Servo Parameters.....</b>	<b>66</b>
5.3.1	Adjusting of Servo Axes .....	66
5.3.2	Adjusting of Spindle Inverter .....	69
<b>5.4</b>	<b>Mechanical Capacity Testing .....</b>	<b>70</b>
5.4.1	NC Programming .....	71
5.4.2	Macro Programming Function Testing.....	74
5.4.3	DLACC Functiong Testing.....	74
5.4.4	Parts processing Testing .....	76
<b>5.5</b>	<b>Summary.....</b>	<b>77</b>



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库